

THERMAL FLOW-RATE SENSOR

Patent Number: JP2001215141
Publication date: 2001-08-10
Inventor(s): SUZUKI KIYOMITSU; KOMACHIYA MASAHIRO; YAMADA MASAMICHI;
MURAKAMI SUSUMU
Applicant(s): HITACHI LTD
Requested Patent: ☐ JP2001215141
Application
Number: JP20000023943 20000201
Priority Number(s):
IPC Classification: G01F1/68; G01P5/12
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To realize a thermal flow-rate sensor in which a heater resistance value is not changed, in which a diaphragm itself used to form a heater is not broken down and which is of high reliability.

SOLUTION: A silicon diaphragm 5 is doped. Heaters 7 and sensors 8, 9 are formed at the inside of the silicon diaphragm 5. Insulating films 4, 6 are executed to the surface and the rear surface of the silicon diaphragm 5. Insulating layers 10 are executed at the inside of the silicon diaphragm 5 between the heaters 7 and the silicon diaphragm 5. Consequently, in the heaters 7, a resistance change due to a piezoelectric effect is suppressed, an increase in the resistance value due to the diffusion of ions is suppressed, and the bad influence of waterdrops which are stuck to the surface of the silicon diaphragm 5 is suppressed. The thickness of the silicon diaphragm 5 is made thick ($2\ \mu\text{m}$ or more), the thickness of the heaters 7 is made thick, and the silicon diaphragm 5 has a structure whose upper part and lower part are nearly symmetrical with reference to the center line in its face direction. As a result, the strength of the silicon diaphragm 5 is enhanced.

Data supplied from the esp@cenet database - l2

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-215141

(P2001-215141A)

(43) 公開日 平成13年8月10日 (2001.8.10)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

FI

テーマコード(参考)

G 0 1 F 1/68

G 0 1 F 1/68

2 F 0 3 5

G 0 1 P 5/12

G 0 1 P 5/12

C

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2000-23943(P2000-23943)

(22) 出願日 平成12年2月1日 (2000.2.1)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 鈴木 清光

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株
式会社日立製作所日立研究所内

(72) 発明者 小町谷 昌宏

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株
式会社日立製作所日立研究所内

(74) 代理人 100077816

弁理士 春日 譲

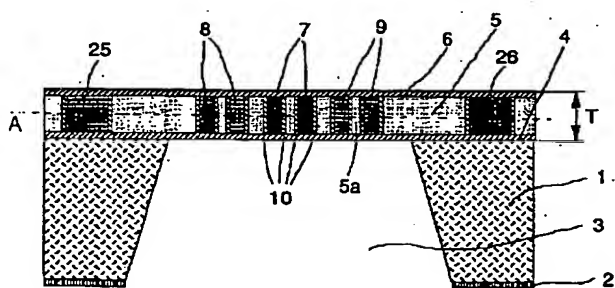
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 熱式流量センサ

(57) 【要約】

【課題】ヒータ抵抗値が変化せず、ヒータを形成するダイアフラム自体が破壊しない高信頼度の熱式流量センサを実現する。

【解決手段】シリコンダイヤフラム5にドーピングを行い、シリコンダイヤフラム5の内部にヒータ7、センサ8、9を形成し、シリコンダイヤフラム5の上下面には絶縁膜4、6を施すとともにシリコンダイヤフラム5の内部にてヒータ7とシリコンダイヤフラム5との間には絶縁層10が施される。これによりヒータ7はピエゾ抵抗効果による抵抗変化が抑制されイオン拡散による抵抗値の増加、シリコンダイヤフラム5に表面に付着する水滴の悪影響も抑制される。さらに、シリコンダイヤフラム5の厚みが厚く(2ミクロン以上)、ヒータ7の厚みも厚く、シリコンダイヤフラム5はその面方向の中心線に対してほぼ上下対称の構造となっている。これによりシリコンダイヤフラム5の強度が向上される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】上面及び下面の両面に少なくとも1層以上の絶縁膜を被覆したシリコンダイアフラムの一部へ不純物をドーピングすることによってヒータを形成したことを特徴とする熱式流量センサ。

【請求項2】請求項1記載の熱式流量センサにおいて、シリコンダイアフラムが多結晶シリコンあるいは単結晶シリコンで形成され、不純物としてリンあるいはボロンがドーピングされていることを特徴とする熱式流量センサ。

【請求項3】請求項2記載の熱式流量センサにおいて、シリコンダイアフラムの両面に形成した絶縁膜の厚さ、材料及びその層数は、上記上面と下面とは同等であり、上記シリコンダイアフラムに対して対称であることを特徴とする熱式流量センサ。

【請求項4】請求項3記載の熱式流量センサにおいて、上記絶縁膜は SiO_2 単層あるいは Si_3N_4 単層あるいは SiO_2 と Si_3N_4 の多層構造あるいは SiO_2 と SiO_2 の多層構造あるいは Si_3N_4 と Si_3N_4 の多層構造よりなることを特徴とする熱式流量センサ。

【請求項5】請求項4記載の熱式流量センサにおいて、多層構造の絶縁膜の中にシリコン層を介在させ、このシリコン層を所定の電位に固定されていることを特徴とする熱式流量センサ。

【請求項6】請求項1から5のうちのいずれか一項記載の熱式流量センサにおいて、シリコンダイアフラムとその両面に形成された絶縁膜のトータル厚さが2ミクロン以上であることを特徴とする熱式流量センサ。

【請求項7】請求項1から6のうちのいずれか一項記載の熱式流量センサにおいて、シリコンダイアフラムはシリコン基板に形成された凹部の薄肉部により形成され、シリコンダイアフラムにはヒータが形成され、上記薄肉部とシリコン基板の厚肉部との境界部と上記ヒータと間に、上記シリコンダイアフラムの上面から下面に到達するような複数の絶縁層が形成されていることを特徴とする熱式流量センサ。

【請求項8】請求項1から7のうちのいずれか一項記載の熱式流量センサにおいて、シリコンダイアフラム中にヒータが形成され、このヒータの不純物濃度が上記シリコンダイアフラムの上面から下面に至る単位長当たりの抵抗値がほぼ一定となるようにドーピングされていることを特徴とする熱式流量センサ。

【請求項9】請求項1から8のうちのいずれか一項記載の熱式流量センサにおいて、シリコンダイアフラム中にヒータが形成され、このヒータのパターンの幅寸法は、上記シリコンダイアフラムの中央部より、上記シリコンダイアフラムの端部側が小となっていることを特徴とする熱式流量センサ。

【請求項10】請求項1から8のうちのいずれか一項記載の熱式流量センサにおいて、シリコンダイアフラム中

にヒータが形成され、このヒータのパターンの不純物濃度は、上記シリコンダイアフラムの中央部より、上記シリコンダイアフラムの端部側が低くなっていることを特徴とする熱式流量センサ。

【請求項11】請求項1から10のうちのいずれか一項記載の熱式流量センサにおいて、シリコンダイアフラムとその両面に形成された絶縁膜が厚さが少なくとも数百ミクロン以上のシリコン基板の上に形成された後、上記シリコン基板の中央部が裏面からエッチングで除去されることによって凹部が加工され、上記絶縁膜中に上記シリコンダイアフラムの温度を検出するための温度センサが形成されるとともに、上記シリコン基板の未エッチング部である厚手部分に被測定流体の温度を検出する温度センサが形成されることを特徴とする熱式流量センサ。

【請求項12】シリコンダイアフラムの上面と下面とに絶縁膜が形成され、上記上面の絶縁膜上にヒータが形成されることを特徴とする熱式流量センサ。

【請求項13】請求項12記載の熱式流量センサにおいて、ヒータがシリコンあるいは白金などの金属材料で構成されることを特徴とする熱式流量センサ。

【請求項14】請求項12又は13記載の熱式流量センサにおいて、シリコンダイアフラムとその両面に形成された絶縁膜のトータル厚さが少なくとも2ミクロン以上であることを特徴とする熱式流量センサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ガスメータ、半導体製造装置等における各種ガス、自動車エンジンへの吸入空気等の広範囲な分野における気体の流量を測定するセンサに係わり、特に、高精度で高信頼度を有する熱式流量センサに関する。

【0002】

【従来の技術】熱式流量センサは、ヒータに通電して、ヒータ部を所定の温度（例えば、被測定気体の温度より150℃高い温度）に自己加熱し、気体の流量に応じて変化するヒータからの放熱量やヒータの近傍に配置した温度センサの温度変化から気体の流量を検出するものである。

【0003】熱式流量センサのヒータ素材としては、白金を用いたものが特開平8-271308号公報に記載されている。また、ヒータ素材としてシリコンを用いたものが、特開平11-83580号公報に記載されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】上述したように、熱式流量センサは、ヒータ部を所定の温度に自己加熱して、温度センサの温度変化から気体の流量を検出するものである。それ故、所定の温度へ正確に自己加熱できないと検出誤差が大きくなる。

【0005】ところが、ヒータ素材にシリコンを用いた

従来例にあつては、ヒータの抵抗値が経時変化し、ヒータ部を所定の温度へ正確に加熱できない問題点があった。この結果、経時的に流量の検出誤差が次第に大きくなってしまっていた。

【0006】また、ヒータ素材にシリコンもしくは白金を用いた従来例にあつては、微粒子の衝突や水滴の付着する悪環境下では、ヒータを形成したダイアフラムが破壊され、流量を全く検出できなくなるという信頼性上の問題があった。

【0007】これらの信頼性に関する問題点の原因を以下に述べる。まず、シリコンよりなるヒータの抵抗値が経時変化する要因を示す。ヒータの抵抗変化は少なくとも0.1%以下にする必要があるが、実際にはその数倍から数十倍程度変化していた。

【0008】(イ) ピエゾ抵抗効果による抵抗値の変化のためである。従来例のヒータは SiO_2 や Si_3N_4 あるいはこれらの複合膜などからなる絶縁性の極めて薄い(約1ミクロン)ダイアフラム中に帯状に形成されていた。これらの絶縁性のダイアフラムは空所を有するシリコン基板の上に形成されている。これらの絶縁性のダイアフラムを構成する SiO_2 や Si_3N_4 は、シリコン基板に対して、加工後にそれぞれ-0.28GPa(圧縮応力)、1GPa(引っ張り応力)の残留応力を持っている。この残留応力は、ヒータへの通電による自己加熱や吸湿によって微妙に変化し、絶縁性のダイアフラムに曲げ変形を発生させていた。この曲げ変形によるピエゾ抵抗効果によって、ヒータの抵抗値を経時変化させていた。また、帯状のパターンを有するヒータの上側と下側とに形成された絶縁層の厚さやその材料がヒータに対して対称構造でなかったため、ピエゾ抵抗効果による抵抗値の変化を拡大させていた。

【0009】(ロ) 絶縁性ダイアフラム中のイオン拡散(ナトリウムイオンやカリウムイオンなどの拡散)によるヒータ表面の蓄積層の減少による抵抗値の増加のためである。

【0010】(ハ) ヒータ通電によって、 Si_3N_4 中へ負の電荷がトラップされ、ヒータ抵抗値が僅かに変化するためである。

【0011】(ニ) Si_3N_4 中にトラップされた水素がヒータ表面に拡散してきて、ヒータ部のシリコンと結合する。そして、ヒータ抵抗値を僅かに変化させるためである。

【0012】(ホ) 帯状のヒータパターンの設計不良や水滴が付着したときのバーンアウト現象によって、ヒータの一部が極部的に高温に加熱される。このヒータの極部加熱によってドーピングされたリンやボロンなどの不純物の濃度勾配が変わり、抵抗値を変化させるためである。

【0013】(ヘ) 上述したヒータの極部加熱によって、ヒータの素材が多結晶シリコンの場合、その結晶構

造が変わり抵抗値を変化させるためである。

【0014】次に、ダイアフラムが破壊する要因について述べる。

【0015】(a) 被測定気体中にサイズが約10ミクロン以上で、かつ数十m/s以上の速度で運動する微粒子が存在する悪環境下で使用されるとき、この微粒子が絶縁性のダイアフラムに衝突し、ダイアフラム自体を破壊させる恐れがあった。即ち、従来の絶縁性のダイアフラムの厚さは約1ミクロン程度と薄く、またシリコンなどに比べて強度も弱いため、ダイアフラム自体が破壊される確率が非常に高かった。

【0016】(b) 絶縁性のダイアフラム中に形成されたヒータ部の表面に水滴が付着すると、バーンアウト現象によって所定の温度よりはるかに高い温度までダイアフラム自体を自己加熱させる。このとき、ダイアフラム中に発生した大きな熱応力によってダイアフラムが破壊する。

【0017】なお、ヒータ部への水滴の付着は、被測定気体中をその流れに乗ってくる水滴と、ヒータ通電前に露結によって生じた水滴との2種類の水滴によってもたらされる。

【0018】本発明は、以上の問題に鑑みてなされたもので、その目的は、ヒータ抵抗値が変化せず、ヒータを形成するダイアフラム自体が破壊しない高信頼度の熱式流量センサを実現することである。

【0019】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明は次のように構成される。

(1) 熱式流量センサにおいて、上面及び下面の両面に少なくとも1層以上の絶縁膜を被覆したシリコンダイアフラムの一部へ不純物をドーピングすることによってヒータを形成する。

【0020】(2) 好ましくは、上記(1)において、シリコンダイアフラムが多結晶シリコンあるいは単結晶シリコンで形成され、不純物としてリンあるいはボロンがドーピングされる。

【0021】(3) また、好ましくは、上記(2)において、シリコンダイアフラムの両面に形成した絶縁膜の厚さ、材料及びその層数は、上記上面と下面とは同等であり、上記シリコンダイアフラムに対して対称である。

【0022】(4) また、好ましくは、上記(3)において、上記絶縁膜は SiO_2 単層あるいは Si_3N_4 単層あるいは SiO_2 と Si_3N_4 の多層構造あるいは SiO_2 と SiO_2 の多層構造あるいは Si_3N_4 と Si_3N_4 の多層構造よりなる。

【0023】(5) また、好ましくは、上記(4)において、多層構造の絶縁膜の中にシリコン層を介在させ、このシリコン層を所定の電位に固定されている。

【0024】(6) また、好ましくは、上記(1)から(5)において、シリコンダイアフラムとその両面に形

成された絶縁膜のトータル厚さが2ミクロン以上である。

【0025】(7) また、好ましくは、上記(1)から(6)において、シリコンダイアフラムはシリコン基板に形成された凹部の薄肉部により形成され、シリコンダイアフラムにはヒータが形成され、上記薄肉部とシリコン基板の厚肉部との境界部と上記ヒータと間に、上記シリコンダイアフラムの上面から下面に到達するような複数の絶縁層が形成されている。

【0026】(8) また、好ましくは、上記(1)から(7)において、シリコンダイアフラム中にヒータが形成され、このヒータの不純物濃度が上記シリコンダイアフラムの上面から下面に至る単位長当たりの抵抗値がほぼ一定となるようにドーピングされている。

【0027】(9) また、好ましくは、上記(1)から(8)サにおいて、シリコンダイアフラム中にヒータが形成され、このヒータのパターンの幅寸法は、上記シリコンダイアフラムの中央部より、上記シリコンダイアフラムの端部側が小となっている。

【0028】(10) また、好ましくは、上記(1)から(8)において、シリコンダイアフラム中にヒータが形成され、このヒータのパターンの不純物濃度は、上記シリコンダイアフラムの中央部より、上記シリコンダイアフラムの端部側が低くなっている。

【0029】(11) また、好ましくは、上記(1)から(10)において、シリコンダイアフラムとその両面に形成された絶縁膜が厚さが少なくとも数百ミクロン以上のシリコン基板の上に形成された後、上記シリコン基板の中央部が裏面からエッチングで除去されることによって凹部が加工され、上記絶縁膜中に上記シリコンダイアフラムの温度を検出するための温度センサが形成されるとともに、上記シリコン基板の未エッチング部である厚手部分に被測定流体の温度を検出する温度センサが形成される。

【0030】(12) 熱式流量センサにおいて、シリコンダイアフラムの上面と下面とに絶縁膜が形成され、上記上面の絶縁膜上にヒータが形成される。

【0031】(13) 好ましくは、上記(12)において、ヒータがシリコンあるいは白金などの金属材料で構成される。

【0032】(14) また、好ましくは、上記(12)又は(13)において、シリコンダイアフラムとその両面に形成された絶縁膜のトータル厚さが少なくとも2ミクロン以上である。

【0033】上述の熱式流量センサの信頼性を悪化させる要因は、上記本発明により解消され、ヒータ抵抗値が変化せず、且つヒータを形成したダイアフラム自体が破壊しない高信頼度な熱式流量センサを提供することが可能となる。

【0034】そして、本発明は以下のような作用を有す

る。

【0035】(イ) 両面に少なくとも1層以上の絶縁膜を被覆したシリコンダイアフラムの一部へ不純物をドーピングすることによって、帯状のヒータパターンを形成する。このとき、シリコンダイアフラムに対して絶縁膜の厚さを相対的に薄くすることにより、ヒータを内蔵するダイアフラムを絶縁性のダイアフラムから実質的にシリコン性のダイアフラムに変更する。

【0036】そして、シリコンダイアフラムの両面に形成した絶縁膜の厚さ、材料及びその層数は同じで、シリコンダイアフラムに対して対称構造にする。あるいはヒータを内蔵した従来の絶縁性のダイアフラムの下面にシリコンダイアフラムを設け、両者のダイアフラムを複合化することによりダイアフラムの経時的な曲げ変形を抑制する。

【0037】(ロ) シリコンダイアフラムの両面に多層構造の絶縁膜を形成し、この多層構造の絶縁膜の中にシリコン層を介在させ、このシリコン層を所定の電位に固定する。これによって、露出した絶縁膜中をイオンが拡散してもヒータ表面の蓄積層の減少を防止することができ。

【0038】(ハ) 特に、高い精度で気体の流量を計測する用途の場合、絶縁膜の材料に Si_3N_4 を使用しない。

【0039】(ニ) 特に、高い精度で気体の流量を計測する用途の場合、絶縁膜の材料に Si_3N_4 を使用しない。

【0040】(ホ) ヒータ部の長手方向の温度分布が一樣になるように、帯状のヒータパターンをその中央部で幅を広く、シリコンダイアフラムの端部側で狭くする。あるいは、帯状のヒータパターンの不純物濃度をその中央部で高く、シリコンダイアフラムの端部側で低くする。

【0041】また、水滴付着によるバーンアウト現象によってヒータのJ部が極端的に高温に加熱されても、ドーピングされたリンやボロンなどの不純物の濃度勾配の影響を受けにくいように、あらかじめシリコンダイアフラムの上面から下面にいたるまで十分に不純物をドーピングしておく。

【0042】(ヘ) 水滴付着によるバーンアウト現象によって、ヒータの一部が極端的に高温に加熱される頻度が非常に多い用途の場合、ヒータ素材のシリコンには単結晶シリコンを用いる。

【0043】次に、ダイアフラムの破壊を防止するためには、以下の構成によって達成される。

【0044】(a) 両面に少なくとも1層以上の絶縁膜を被覆したシリコンダイアフラムの一部へ不純物をドーピングすることによって、帯状のヒータパターンを形成する。あるいはヒータを内蔵した絶縁性のダイアフラムの下面にシリコンダイアフラムを設け、両者を複合化し

たダイアフラム構造にする。

【0045】いずれの場合も、ダイアフラムの主たる材料に強度の高いシリコンを使用し、且つシリコンダイアフラムとその両面に形成した絶縁膜のトータル厚さを少なくとも2ミクロン以上にする。実験によれば、トータル厚さが2ミクロンになると、微粒子の衝突によるダイアフラムの破壊確率は急激に低下した。トータル厚さが3ミクロンになると悪環境下でも破壊は皆無になった。

【0046】(b)上記(a)項と同様の手段によって解決され、トータル厚さと破壊確率の関係もほぼ似たような傾向を示した。また、ダイアフラムの主たる材料を絶縁性の材料から熱伝導率の高いシリコンにすることにより、ヒータ部からダイアフラムを支持する基板側への熱の移動量が大きくなる。そして、水滴付着によるバーンアウト時の加熱温度の上昇を従来より低い温度に抑制することができる。結果として、ダイアフラムの破壊確率の低下に結びつく。

【0047】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を添付図面に基づいて詳細に説明する。図1は本発明の第1の実施形態である熱式流量センサの概略断面図である。図1に示すように、シリコン基板1の裏面に形成したエッチング用マスク材2を用いて、シリコン基板1の中央部に凹部3を加工している。そして、凹部3を覆うように、上面と下面にそれぞれ絶縁膜6と4とを有するシリコンダイアフラム5がシリコン基板1の表面に形成されている。つまり、シリコンダイアフラム5はシリコン基板1に形成された凹部の薄肉部により形成され、その周囲は厚肉部集となっている。

【0048】約数 $\Omega \cdot \text{cm}$ の抵抗率を有するシリコンダイアフラム5にはリンやボロンなどの不純物をドーピングすることによって、ヒータ7、温度センサ8と9、導体路25と26などの抵抗体をシリコンダイアフラム5中に形成している。

【0049】なお、約数百 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ の抵抗率を持つヒータ7、温度センサ8と9、導体路25と26などの抵抗体は、絶縁層10によってシリコンダイアフラム5と電気的に絶縁されている。

【0050】また、図1に示すように、上面と下面とにそれぞれ絶縁膜6と4とを有するシリコンダイアフラム5は平坦で、そのトータル厚さTは少なくとも2ミクロン以上となっている。

【0051】また、シリコンダイアフラム5の上面と下面とに設けた絶縁膜6と4とは、同じ材料(例えば、 SiO_2 や Si_3N_4 など)とほぼ同じ厚さ(図1に示した例の場合、約0.2~0.5ミクロン)で構成される。

【0052】なお、シリコンダイアフラム5には単結晶シリコンあるいは多結晶シリコンが用いられる。検出部を図1に示すような構造となっている、つまり、シリコンダイアフラム5にドーピングを行って、シリコンダイ

アフラム5の内部にヒータ7、センサ8、9を形成し、シリコンダイアフラム5の上下面には絶縁膜4、6を施すとともに、シリコンダイアフラム5の内部にてヒータ7とシリコンダイアフラム5との間には絶縁層10が施されている。これによって、ヒータ7はピエゾ抵抗効果による抵抗変化が抑制され、イオン拡散による抵抗値の増加、並びに、シリコンダイアフラム5に表面に付着する水滴の悪影響も抑制される。

【0053】さらに、シリコンダイアフラム5の厚みが厚く(2ミクロン以上)、ヒータ7の厚みも厚く、シリコンダイアフラム5は、その面方向の中心線(破線A)に対してほぼ上下対称となる構造となっている。

【0054】これによって、シリコンダイアフラム5の強度が向上される。したがって、本発明の第1の実施形態によれば、ピエゾ抵抗効果による抵抗値変化を防止し、悪環境下でもダイアフラムが破壊しない高精度で高信頼度を有する熱式流量センサを得ることができる。

【0055】また、絶縁膜6と4とに Si_3N_4 を用いなければ(SiO_2 を用いれば)、負のトラップ電荷の影響と水素結合の影響を防止することができる。

【0056】図2は、図1に示した熱式流量センサの概略平面図である。なお、この図2は、説明の都合上、シリコンダイアフラム5の上面の絶縁膜6を除去して見たときの平面図である。

【0057】また、図1に示した参照符号と後述する参照符号とが同一の場合は、同一の要素を示し、それらの要素は全て同じ機能を有するものとして、以下の説明を行うことにする。また、図1は、図2のX-X線に沿って切った断面図を示したものである。

【0058】図2に示すように、Y-Y線方向(太い矢印で示す空気流の方向にほぼ垂直な方向)に折れ曲がった帯状のパターンを有するヒータ7と温度センサ8及び9とは凹部3上に形成される。

【0059】被測定気体の流量を計測するとき、空気流を太い矢印で示すように、温度センサ8は、ヒータ7の上流側に配置され、温度センサ9は、ヒータ7の下流側に配置される。また、被測定気体の温度を検出する温度センサ12は、ヒータ7からの影響を受けないように、未エッチング部分であるシリコン基板1の厚手部分11に配置される。

【0060】図2に示すように、ヒータ7、温度センサ8、9、12は、それぞれ導体路13と14、17と18、21と22、25と26を介して、パッド15と16、19と20、23と24、27と28に電気的に接続されている。ヒータ7と温度センサ8、9、12のパターン幅は数~数十ミクロン、導体路13、14、17、18、21、22、25、26の幅は数百ミクロンの値に設定される。

【0061】ヒータ7と温度センサ8、9、12の抵抗値を、外部に設けた信号処理回路で高精度に検出するた

めには、導体路部分の抵抗値を極力小さな値にするのが、より望ましい。このためには、導体路のパターン幅をより広くすると同時に、リンやボロンなどの不純物の濃度をヒータや温度センサよりもより高濃度にドーピングするのが望ましい。

【0062】ヒータ7、温度センサ8、9、12はアルミなどの金属材料で構成されるパッドから、ワイヤボンディングを介して外部の信号処理回路（但し、図には記載していない）と結線される。外部の信号処理回路によって、ヒータ7は被測定気体の温度より所定値だけ高い温度（使用目的によって異なるが、例えば温度差は150°Cなど）に通電することにより正確に自己加熱される。

【0063】このとき、温度センサ9と8との温度差を検出することによって、被測定気体の流量を計測することができる。この計測方法は温度差型として良く知られた手法であり、被測定気体の流量が増加するにつれて、温度センサ9と8との間の温度差は増加するものである。

【0064】これに対して、同じく良く知られた直熱型の手法を本発明に適用した場合、ヒータ7の放熱量から気体の流量を直接的に検出できるので、ヒータ7の両側に配置した温度センサ8と9とは不要である。

【0065】温度差型又は直熱型のどちらの手法を用いるかは使用目的、例えば計測のレンジやピリティなどから選定される。

【0066】次に、図1及び図2に示した第1の実施形態である熱式流量センサの概略製造プロセスを図3に示す。

【0067】この図3を用いて、本発明の実施形態である熱式流量センサの製造方法を簡単に説明する。なお、図3及び以下の説明においては、(a)～(f)は製造工程を示す。

【0068】(a) 単結晶のシリコン基板1の表面に熱酸化膜(SiO_2)よりなる絶縁膜4を形成し、同様にシリコン基板1の裏面に絶縁膜2aを形成する。

【0069】(b) CVD (Chemical Vapor Deposition) 法により、絶縁膜4の上に多結晶シリコンよりなるシリコンダイアフラム5と酸化膜(SiO_2)6aとを成膜する。

【0070】(c) 酸化膜6aをホットエッチングによって、部分的に開口する。この開口部からリンやボロンなどの不純物をドーピングして、シリコンダイアフラム5中へヒータ7、温度センサ8、9及び導体路25、26となる抵抗体を形成する。

【0071】(d) 酸化膜6aを除去して、シリコンダイアフラム5の表面に新たな酸化膜6bをCVD法で成膜する。そして、ホットエッチングでこの酸化膜6bを部分的に開口する。この酸化膜6bをマスク材として、開口部のドライエッチングによりヒータ7、温度センサ

8、9及び導体路25、26の側面部分のシリコンダイアフラム5を除去する。そして、このシリコンダイアフラム5を除去した部分がスリット29になる。

【0072】(e) CVD法でスリット29を封止するように絶縁層10(SiO_2 や Si_3N_4 などよりなる)を成膜する。次に、シリコンダイアフラム5の表面に絶縁膜6を成膜する。なお、絶縁層10と絶縁膜6とは同じ材料でも良く、このとき絶縁層10と絶縁膜6とは連続的に成膜される。

【0073】(f) 最後に、シリコン基板1の裏面にエッチング用マスク材2(SiO_2 や Si_3N_4 などよりなる)を成膜して、ホットエッチングによりその中央部分を除去する。エッチング用マスク材2を開口した部分からKOHなどのアルカリエッチング液中でシリコン基板1が除去され、凹部3が形成される。

【0074】なお、エッチングは絶縁膜4で停止するので、凹部3上のダイアフラム部分の厚さはCVD時の成膜厚さによってのみ決定される。

【0075】また、シリコンダイアフラム5の素材として単結晶シリコンを用いるときは、SOI (Silicon On Insulator) 基板を用いることになる。この場合の製造プロセスの説明は省略する。

【0076】以上説明した製造方法によれば、ピエゾ抵抗効果による抵抗値変化を防止し、悪環境下でもダイアフラムが破壊しない高精度で高信頼度を有する本発明の第1の実施形態である熱式流量センサを製造することができる。

【0077】図4は、本発明による第2の実施形態である熱式流量センサの概略断面図である。図4に示した本発明の第2の実施形態は、折れ曲がった帯状のパターン形状に形成されたヒータ7及び温度センサ8、9のパターン同士の間シリコン（図1中の5a部分）がない場合の例である。他の構成については、図1の例と図4の例とは、同様となっている。また、製造方法についても、図3に示した方法と同様な方法により製造することができる。

【0078】本発明の第2の実施形態によれば、第1の実施形態と同様な効果を得ることができる他、より微細で小型な検出部を有する熱式流量センサを得ることができる。

【0079】図5は、本発明による第3の実施形態である熱式流量センサの概略断面図である。図5に示した第3の実施形態は、シリコンダイアフラム5中に形成したヒータ7、温度センサ8、9及び導体路25、26の側面に形成した絶縁層10がない場合の例である。他の構成は、図1に示した例と同様である。

【0080】この図5の例においては、予めシリコンダイアフラム5の材料として抵抗率が少なくとも数百 $\Omega \cdot \text{cm}$ 以上のものを使用すれば、この図5のように絶縁層10を省略した構成としてもシリコンダイアフラム5中

のシリコン部分5aを介したヒータ7と温度センサ8、9との間のリーク電流が測定精度に対して無視できるオーダーになり、この図5に示すような検出部構造が可能になる。

【0081】結果として、本発明の第3の実施形態によれば、第1の実施形態と同様な効果を得ることができる他、製造方法の容易な熱式流量センサを実現することができる。

【0082】図6は、本発明による第4の実施形態である熱式流量センサの概略断面図である。この図6の例は、シリコンダイアフラム5の上面と下面とに形成された絶縁膜が多層の絶縁膜より構成されるものである。図6に示すように、シリコンダイアフラム5の上面には SiO_2 よりなる絶縁膜6と Si_3N_4 よりなる絶縁膜31が形成され、下面には SiO_2 よりなる絶縁膜4と Si_3N_4 よりなる絶縁膜30が形成されている。

【0083】つまり、圧縮残留応力を持つ SiO_2 よりなる絶縁膜と引張り残留応力を持つ Si_3N_4 よりなる絶縁膜とを複合化した多層の絶縁膜をシリコンダイアフラム5の両面に形成している。

【0084】こうすることにより、多層絶縁膜の圧縮と引張りの残留応力が多少変動しても、シリコンダイアフラム5に発生する曲げ変形を極力小さな値に抑制することができる。

【0085】結果として、本発明の第4の実施形態によれば、第1の実施形態と同様な効果を得ることができる他、ヒータ7や温度センサ8、9のピエゾ抵抗効果による抵抗値変化を防止することができる。

【0086】なお、シリコンダイアフラム5の上面と下面とに設けた多層絶縁膜はほぼ同じ厚さ（トータル厚さで約0.3～0.6ミクロン）で構成される。

【0087】図7は、本発明による第5の実施形態である熱式流量センサの概略断面図である。

【0088】この図7に示した例は、図6に示した例に対して、圧縮残留応力を持つ SiO_2 よりなる絶縁膜と引張り残留応力を持つ Si_3N_4 よりなる絶縁膜のシリコンダイアフラム5に対する配置を逆にした例である。

【0089】すなわち、シリコンダイアフラム5の面に近い方に Si_3N_4 膜30、31を形成し、その上に SiO_2 膜4、6を形成しものである。

【0090】この第5の実施形態においても、図6に示した第4の実施形態と同様な効果を得ることができる。

【0091】図8は、本発明による第6の実施形態である熱式流量センサの概略断面図である。図8に示した第6の実施形態は、ヒータ7、温度センサ8、9及び導体路25、26を内蔵するシリコンダイアフラム5の両面に絶縁膜と導体膜からなる複合膜を形成した例である。

【0092】すなわち、シリコンダイアフラム5の上面には絶縁膜6と35との間に導体膜33を介させた複合膜を形成し、シリコンダイアフラム5の下面には絶縁

膜4と34との間に導体膜32を介させた複合膜を形成する。それぞれの複合膜は、CVD法でシリコンダイヤフラム5の上面及び下面に成膜している。図8中には記載されていないが、これらの導体膜33と32とは所定の電位（例えば、検出部に接続された信号処理回路中の定電圧やグランド）に保持される。他の構成は図1に示した例と同様となっている。

【0093】本発明の第6の実施形態によれば、第1の実施形態と同様な効果を得ることができる他、上述のような構成とすることによって、熱式流量センサの製造時や使用時に各種のイオンが絶縁膜35と34の表面に付着して、これらの絶縁膜中を動き回っても、ヒータ7や温度センサ8、9の抵抗値は経時変化することはない。

【0094】すなわち、抵抗値が経時変化することはないのは、導体路33と32を所定の電位に保持することによって、ヒータ7や温度センサ8、9の表面に蓄積層が発生したり、蓄積層を変化させる現象がなくなるからである。

【0095】なお、シリコンダイアフラム5の両面に形成されるこれらの複合膜の厚さは、シリコンダイアフラム5の厚さより薄い厚さ（例えば、トータル厚さで約0.3～0.6ミクロン）に設定される。

【0096】図9は、本発明による第7の実施形態である熱式流量センサの概略断面図である。この図9に示した第7の実施形態は、シリコンダイアフラム5の両面に3層の絶縁膜からなる多層絶縁膜を成膜した例である。なお、トータル厚さがシリコンダイアフラム5より薄ければ、シリコンダイアフラム5の両面に形成する多層絶縁膜は3層以上の絶縁膜で構成されても良い。

【0097】3層の絶縁膜で構成される場合、 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2$ 多層膜や $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 多層膜などが考えられる。この図9に示す例は、前者の場合を示している。すなわち、シリコンダイアフラム5の上面には SiO_2 よりなる絶縁膜6と、 Si_3N_4 よりなる絶縁膜31と、 SiO_2 よりなる絶縁膜38とを形成する。そして、シリコンダイアフラム5の下面には SiO_2 よりなる絶縁膜4と、 Si_3N_4 よりなる絶縁膜30と、 SiO_2 よりなる絶縁膜37とを形成する。

【0098】以上のように、本発明の第7の実施形態によれば、第1の実施形態と同様な効果を得ることができる他、ピエゾ抵抗効果による抵抗値変化を防止し、悪環境下でもダイアフラムの破壊しない高信頼度な熱式流量センサを実現することができる。

【0099】図10は、本発明による第8の実施形態である熱式流量センサの概略断面図である。熱式流量センサの用途によっては、少ない消費電力で動作するものや、高応答のものが要求される場合がある。前者の例としては、ガスメータ、後者の例としては、自動車用のエアフローメータなどがある。

【0100】このような少ない消費電力で動作するもの

や高応答のもの例では、シリコンダイアフラムからこれを支持するシリコン基板への熱伝導量を極力少なくするのが解決方法の一つである。一方、絶縁材料 SiO_2 の熱伝導率と比較すると、多結晶シリコンの熱伝導率は約10倍、単結晶シリコンは約100倍と大きい値を有する。本発明の第8の実施形態は、熱伝導量を考慮した例である。

【0101】図10において、凹部3の境界部と温度センサ8と間、並びに凹部3の境界部と温度センサ8と間のシリコンダイアフラム5中へ、シリコンダイアフラム5の上面から下面に到達するような複数の絶縁層36を形成している。これら絶縁層36を熱伝導率の小さい SiO_2 などで構成することにより、ヒータ7からシリコン基板1側へ逃げる熱量を減らすことが可能になる。なお、1本の絶縁層36の幅寸法は数ミクロン以下である。

【0102】結果として、本発明の第8の実施形態によれば、第1の実施形態と同様な効果を得ることができる。他、絶縁膜6と4とでサンドイッチされたシリコンダイアフラム5のトータル厚さTを2ミクロン以上にしても、少ない消費電力で動作し且つ高応答の熱式流量センサを実現することができる。

【0103】次に、ヒータや温度センサの縦方向（深さ方向）の不純物濃度について述べる。不純物のドーピング条件と深さ方向の濃度分布との関係を図11に示す。この図11は、厚さ1ミクロンのシリコンダイアフラムにリンを 950°C 、30分の条件でドーピングしたときと、 1150°C 、60分の条件でドーピングしたときのヒータや温度センサの表面から深さ方向に至るリンの濃度分布を示したものである。

【0104】図11に示すように、前者（ 950°C 、30分）はシリコンダイアフラムの下面までリンがドーピングされないのに対して、後者（ 1150°C 、60分）はシリコンダイアフラムの上面から下面にいたるまで十分に高濃度のリンがドーピングされる条件である。

【0105】両ドーピング条件による熱式流量センサを試作し、ヒータを極部的に過加熱する苛酷な評価を実施してみた。

【0106】上述したように、帯状のヒータパターンでの設計不良や水滴が付着したときのバーンアウト現象によって、ヒータの一部が極部的に高温に加熱される。前者のドーピング条件ではヒータの抵抗値が大きく変動した（例えば、 -1% ）。一方、後者のドーピング条件ではヒータ抵抗値の変化は大幅に抑制された。

【0107】これは、ヒータの極部加熱によってドーピングされたリンの濃度勾配が変わり、抵抗値を変化させるためと考えられる。

【0108】それ故、シリコンダイアフラム中に形成したヒータの不純物濃度は、シリコンダイアフラムの上面から下面に至るまで十分にドーピングされていることが

重要である。種々の苛酷試験によると、望ましくはヒータ下部の不純物濃度は、ヒータ上部の不純物濃度の0.1倍以上であることが分かった。

【0109】したがって、本発明の実施形態においては、シリコンダイアフラムの上面から下面に至るまでに十分にドーピングされている、つまり、上面から下面に至る単位長さ当たりの抵抗値（抵抗率）がほぼ一定となるようにドーピングされている。

【0110】図12は、本発明による第9の実施形態である熱式流量センサの概略平面図である。この図12に示す第9の実施形態は、帯状のヒータパターンの温度分布を改善する例である。帯状のパターンを有するヒータ7を通電によって自己加熱させると、ヒータ7で発生した熱の一部はシリコンダイアフラムを介して、シリコン基板の厚手部分11へ伝導する。

【0111】ヒータパターンの長手方向（Y-Y線に沿った方向）の温度分布は、ヒータパターンの単位長さ当たりの発熱量が同じであれば、帯状のヒータパターンの中央部で高く、シリコンダイアフラムの凹部3の境界部側で低くなる。結果として、外部の信号処理回路によってヒータ7の平均温度を所定の値に自己加熱できても、ヒータ7の中央部が高温に過加熱される。

【0112】このため、本発明の第9の実施形態においては、Y-Y線に沿う方向の温度分布が一様となるように、帯状のヒータパターンをその中央部で幅を広く（中央部を7aで示す）、シリコンダイアフラムの端部側で狭く（端部側のヒータパターンを7b、7cで示す）したものである。

【0113】なお、ヒータパターンの幅は、図示したように、段階的に変わるのではなく、中央部から端部側へ連続的に次第に幅が狭くなるようなパターンにすれば、より好ましい。一方、シリコンダイアフラム中にドーピングする不純物の濃度が高くなるほど、ヒータの抵抗値は小さくなる。

【0114】それ故、帯状のヒータパターンの不純物濃度をその中央部で高く、シリコンダイアフラムの端部側で低くしても同様の効果が得られる。

【0115】このように、本発明の第9の実施形態によれば、帯状のヒータパターンの温度分布を一様にできるため、被測定気体の流量を高精度に検出できると同時に、信頼性の高い熱式流量センサを実現することができる。

【0116】図13は、本発明による第10の実施形態である熱式流量センサの概略断面図である。この図13に示す例は、ヒータを内蔵した従来の絶縁性のダイアフラムの下面にシリコンダイアフラムを設け、両者のダイアフラムを複合化することによりダイアフラムの経時的な曲げ変形を抑制する例である。図13において、絶縁膜41と39とでサンドイッチされたシリコンダイアフラム40の上に帯状のパターンを有するヒータ7、温度

センサ8、9及び導体路25、26が形成されている。

【0117】そして、ヒータ7や温度センサ8、9、導体路25、26は、絶縁膜42で被覆されている。絶縁膜41、42、シリコンダイアフラム40及び絶縁膜39からなる複合膜のトータル厚さTが少なくとも2ミクロン以上で、且つヒータ7や温度センサ8、9の厚さが、上記トータル厚さのT寸法に対して十分に小さければ、検出部構造の対称性が若干くずれても、図1の実施形態とはほぼ同様な効果が得られる。

【0118】すなわち、本発明の第10の実施形態においても、ピエゾ抵抗効果による抵抗値変化を防止し、悪環境下でもダイアフラムの破壊しない高精度で高信頼度な熱式流量センサを得ることができる。

【0119】なお、この第10の実施形態における検出部構造をヒータ7や温度センサ8、9の素材として白金を用いた方式の熱式流量センサに適用した場合でも、悪環境下でダイアフラムの破壊しない高信頼度なセンサを得ることができる。

【0120】最後に、本発明による熱式流量センサと、本発明によらない熱式流量センサの検出部構造とを比較するため、上記本発明によらない熱式流量センサの検出部構造を図14に示す。

【0121】図14に示すように、ヒータ7や温度センサ8、9は、薄い(約0.5ミクロン)絶縁膜43の表面にCVDなどで形成され、絶縁膜44で被覆した構造である。絶縁膜44と絶縁膜43とからなる多層絶縁膜が実質的なダイアフラムとなる。

【0122】このダイアフラムは実質的に非シリコン材料で構成され、そのトータル厚さtは1ミクロン程度と薄いものである。また、ヒータ7とダイアフラムの積層体構造は、厚さ方向に対して全体として極端な非対称構造となっている。それ故、本発明によらない熱式流量センサは、上述したように、ピエゾ抵抗効果によってヒータや温度センサの抵抗値が大きく変動する。また、ダイアフラム自体の強度が弱く破壊しやすかった。

【0123】これに対して、上述した本発明の実施形態によれば、ピエゾ抵抗効果によるヒータや温度センサの抵抗値の大きな変動がなく、ダイアフラム自体の強度が強く、破壊しにくい構造となっている。

【0124】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、ヒータ抵抗値が変化せず、ヒータを形成するダイアフラム自体が破壊しない高信頼度の熱式流量センサを実現することができる。

【0125】また、本発明によれば、ヒータ抵抗値が変化せず、ヒータを形成するダイアフラム自体が破壊しない高信頼度の熱式流量センサを製造する製造方法を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態である熱式流量センサ

の概略断面図である。

【図2】図1に示した熱式流量センサの概略平面図である。

【図3】第1の実施形態である熱式流量センサの概略製造プロセスを示す図である。

【図4】本発明の第2の実施形態である熱式流量センサの概略断面図である。

【図5】本発明の第3の実施形態である熱式流量センサの概略断面図である。

【図6】本発明による第4の実施形態である熱式流量センサの概略断面図である。

【図7】本発明による第5の実施形態である熱式流量センサの概略断面図である。

【図8】本発明による第6の実施形態である熱式流量センサの概略断面図である。

【図9】本発明による第7の実施形態である熱式流量センサの概略断面図である。

【図10】本発明による第8の実施形態である熱式流量センサの概略断面図である。

【図11】不純物のドーピング条件と深さ方向の濃度分布との関係を示した図である。

【図12】本発明による第9の実施形態である熱式流量センサの概略平面図である。

【図13】本発明による第10の実施形態である熱式流量センサの概略断面図である。

【図14】本発明による熱式流量センサと、本発明によらない熱式流量センサの検出部構造とを比較するための説明図である。

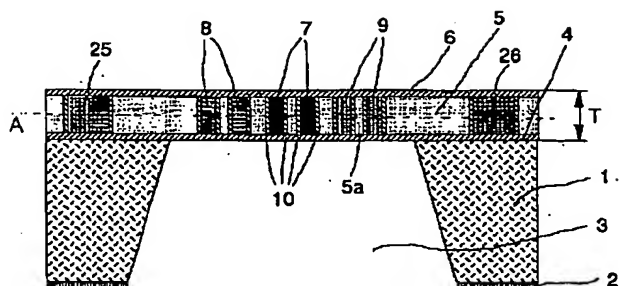
【符号の説明】

1	シリコン基板
2	エッチング用マスク材
3	凹部
4	絶縁膜
5	シリコンダイアフラム
5 a	シリコンダイアフラムの一部
6	絶縁膜
6 a、6 b	酸化膜
7	ヒータ
7 a、7 b	ヒータパターン
7 c	ヒータパターン
8	温度センサ
9	温度センサ
10	絶縁層
11	シリコン基板の厚手部分
12	温度センサ
13、14	導体路
15、16	パッド
17、18	導体路
19、20	パッド
21、22	導体路

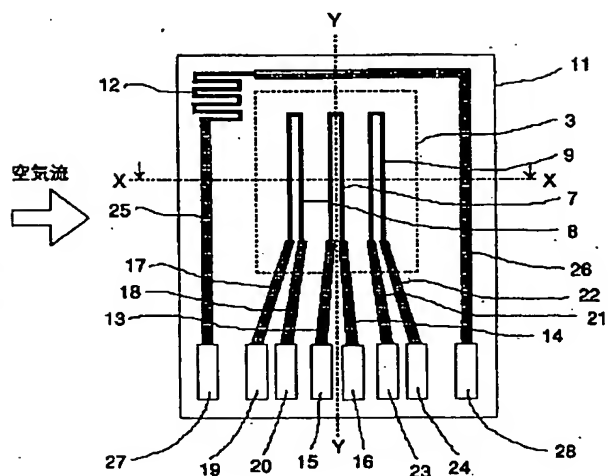
23、24 パッド
25、26 導体路
27、28 パッド
29 スリット
30、31 絶縁膜
32、33 導体膜

34、35 絶縁膜
36、37 絶縁層
38、39 絶縁膜
40 シリコンダイアフラム
41、42 絶縁膜
43、44 絶縁膜

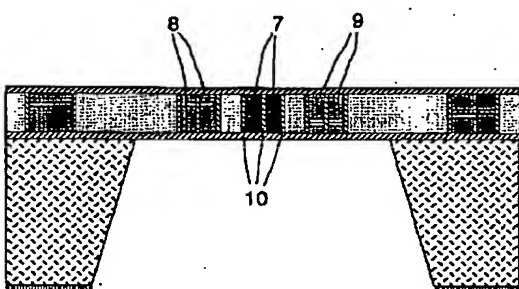
【図1】



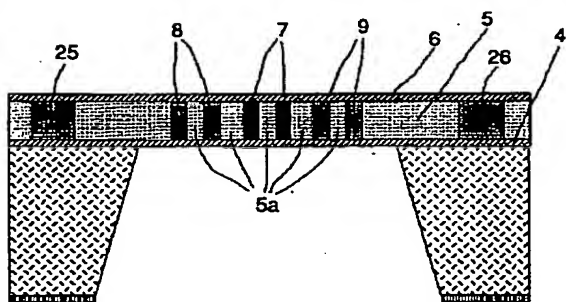
【図2】



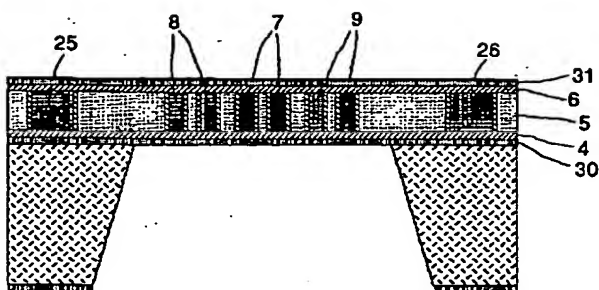
【図4】



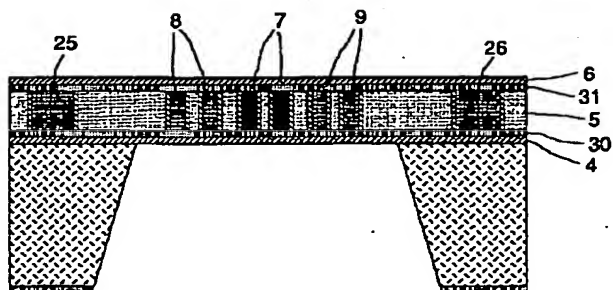
【図5】



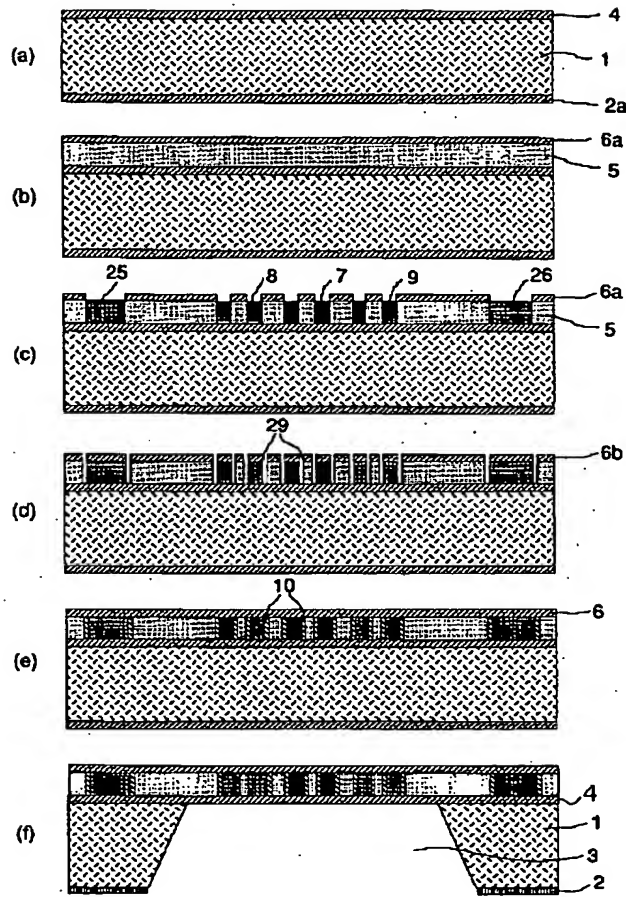
【図6】



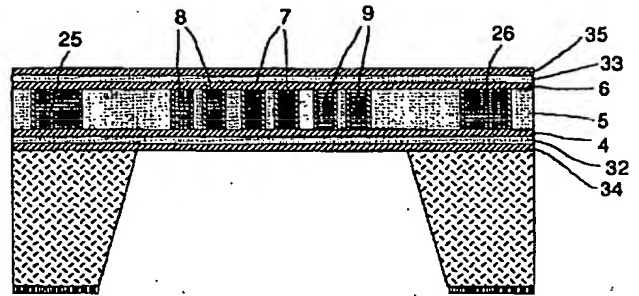
【図7】



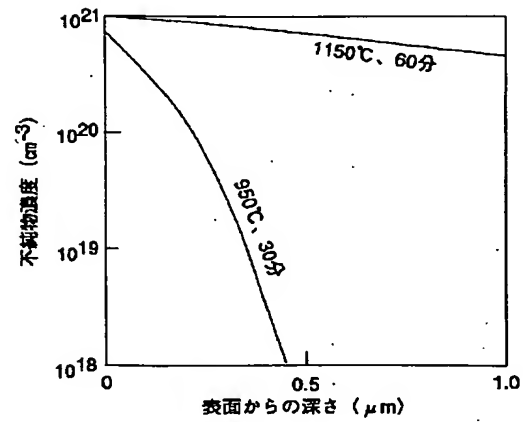
【図3】



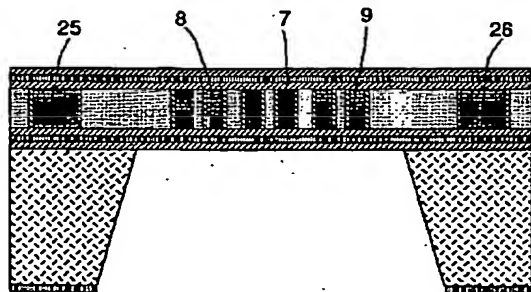
【図8】



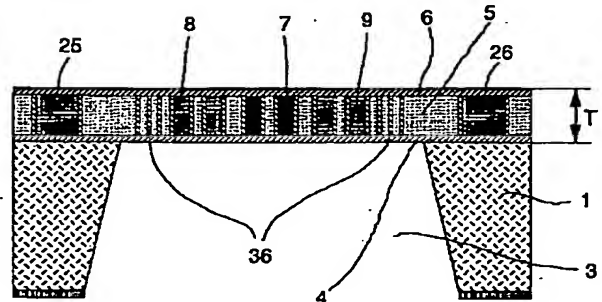
【図11】



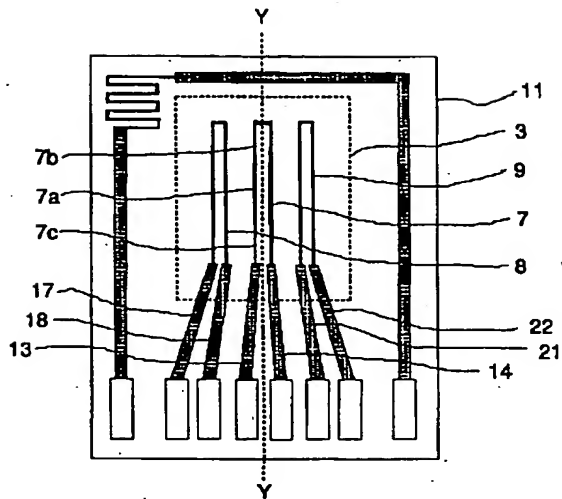
【図9】



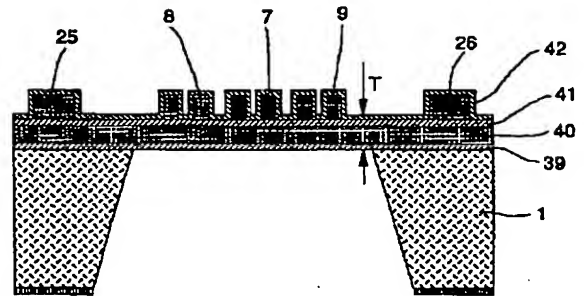
【図10】



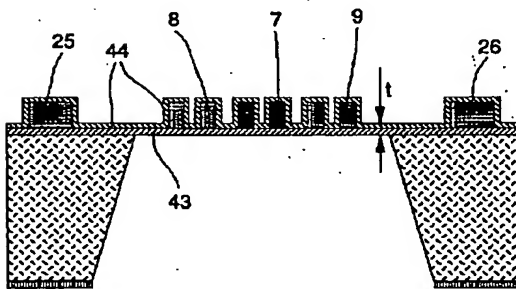
【図12】



【図13】



【図14】



フロントページの続き

(72) 発明者 山田 雅通

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株
式会社日立製作所日立研究所内

(72) 発明者 村上 進

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株
式会社日立製作所日立研究所内

Fターム(参考) 2F035 AA02 EA04 EA05 EA08